

SEMI PV60-0115

TEST METHOD FOR MEASUREMENT OF CRACKS IN PHOTOVOLTAIC (PV) SILICON WAFERS IN PV MODULES BY LASER SCANNING

レーザー走査法を用いた太陽電池モジュールにおけるシリコンウエハのクラック測定方法

Notice: This translation is a REFERENCE COPY ONLY. If differences should exist between the English version and a translation in any other language, the English version is the official and authoritative version.

免責事項: この SEMI スタンダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

SEMI スタンダード日本語翻訳版をご利用にあたっての注釈を本文の末尾に記載しております(「すべきである」「しなければならない」について等)。

本スタンダードは、Photovoltaic – Materials Global Technical Committee で技術的に承認されている。現版は 2014 年 11 月 11 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2015 年 1 月に www.semiviews.org および www.semi.org で入手可能となる。

1 目的

- 1.1 太陽電池セル用の多結晶および単結晶シリコンウエハは、キャスト法やチョクラスキー法またはその他の制御された固化方法で製造される。
- 1.2 これらのシリコンウエハを用いて太陽電池セルを製造する工程では、機械的応力や熱応力の作用によって、ウエハに欠け、スクラッチ、クラック等のマクロな欠陥がしばしば発生する。欠け、スクラッチはクラックが発生する要因になり得る。
- 1.3 クラックが発生したウエハは、モジュール生産工程で破損する場合があります。生産性の低下やコストアップの原因になる。また、破損したウエハは太陽電池モジュールの信頼性の低下の原因になる。
- 1.4 このため、高いスループットおよび再現性でクラックのみを識別して検出し、その数と長さを測定するインライン方式の特性評価方法が求められている。
- 1.5 本方法は、LBIC (Laser Beam Induced Current) 法を基本とし、モジュールに印加するバイアス電圧を制御することによって、クラックのみを識別して検出する測定方法である。

2 範囲

- 2.1 本試験方法は、結晶シリコンウエハ中のクラックを識別し測定するものである。
- 2.2 本試験方法は、インライン方式の非接触かつ非破壊的方法を用いており、測定装置中で試験体を移動させる機構によってモジュールを支持し、その多結晶および単結晶シリコンウエハの特性評価を行う。
- 2.3 本試験方法は、一辺の長さが 125mm 以上で、厚さが 100 μ m 以上の正方形および擬似正方形の太陽電池シリコンセルを対象とする。
- 2.4 高信頼性で再現性の良い測定データを得るためには、本試験方法を統計的工程管理 (SPC, e.g. ISO 11462) のもとで運用すると効果的である。
- 2.5 本試験方法は、レーザー光を太陽電池セル受光面にスキャンさせて得られる短絡電流密度の分布から、クラックを検出する。
- 2.6 他の測定方法が、クラックの数や長さについて本方法と似た情報を出すこともあり得るが、それらの主題は本方法の主題とは異なる。
- 2.7 本試験方法は、決められた要件を満足するならば、オフラインでの評価にも適用できる。

注意: このスタンダードおよび安全ガイドラインはその使用に関連した全ての安全上の問題を取り扱うことを意図していない。この文書の使用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事項を決定し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

- 3.1 クラックの最小検出寸法は、検出系の分解能と周波数特性の影響を受ける。
- 3.2 ウエハの温度を $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ とすべきである。
- 3.3 太陽電池セルの電極パターンとレーザー走査周期が相互干渉して干渉縞を生じることがある。この場合クラックの自動認識が困難となる可能性がある。

4 参照スタンダードおよび文書

4.1 SEMI スタンダードおよび安全ガイドライン

SEMI E89 — Guide for Measurement System Analysis (MSA)

SEMI M59 — Terminology for Silicon Technology

4.2 ISO Standards¹

ISO 11462-1 — Guidelines for Implementation of Statistical Process Control (SPC) – Part 1: Elements of SPC

ISO 11462-2 — Guidelines for Implementation of Statistical Process Control (SPC) – Part 2: Catalogue of Tools and Techniques

注意: 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新版を指す。

5 用語

- 5.1 シリコン技術に関連したり、本スタンダードで使用される一般用語、頭字語、略語、記号は、SEMI M59 にて定義されている。
- 5.2 本文書で使用されるその他の頭字語および略語
 - 5.2.1 LS — (laser scanning) レーザー走査
- 5.3 定義
 - 5.3.1 クラスタ: *cluster* — バイパスダイオードで保護された、直列接続された太陽電池セル。
 - 5.3.2 クラックの入った基準太陽電池モジュール(基準モジュール): *cracked reference PV module (a reference module)* — 予め、クラックの場所と長さが分かっている太陽電池モジュール
- 5.4 記号
 - 5.4.1 V_{OC} — クラスタの開放電圧
 - 5.4.2 I_{SC} — 太陽電池セルの短絡電流

6 試験方法の概要

- 6.1 検査は、クラスタ単位で光源を制御し、2列ずつレーザースキャンする。
- 6.2 光源は、主光源であるレーザー光と指向性の強い副光源を使用すべきである。
- 6.3 光源の波長は可視光(赤)から近赤外光(1000nm程度まで)とすべきである。
- 6.4 レーザーの出力を、太陽電池セルの種類に応じて適宜調整すべきである。
- 6.5 副光源の照度を、レーザー光照射時と比べて、太陽電池セルの I_{SC} が大きくなる値に設定すべきである。
- 6.6 太陽電池モジュールに副光源を照射し、個々のセルを順次レーザースキャンする。
- 6.7 太陽電池セルの起電流を、電流電圧変換器で電圧信号に変換すべきである。
- 6.8 電圧信号を収集してデジタルデータに変換する。

¹ International Organization for Standardization, ISO Central Secretariat, 1, ch. de la Voie-Creuse, CP 56, CH-1211 Geneva 20, Switzerland; Telephone: 41.22.749.01.11, Fax: 41.22.733.34.30, <http://www.iso.org>

- 6.9 データは、走査毎にライン配列として記録され、保管される。
- 6.10 画像処理ソフトウェアは、ライン配列データからモジュール画像を作成する。
- 6.11 システムは画像に現れる線状の暗部を抽出し、クラックの有無及び数を表示する。

7 器具

- 7.1 機器構成の概要を図 1 に、光学ユニット系の概要を図 2 に、測定系の概要を図 3 にそれぞれ示す。
- 7.2 レーザーヘッド — レーザーヘッドは、レーザー、走査ミラー、光学レンズから構成され、レーザー光を太陽電池セルの受光面に照射し走査する。
- 7.3 副光源 — 副光源は、指向性の強い光源を使用し、測定セルを除くすべてのセルに照射する。
- 7.4 スタートセンサー — スタートセンサーはレーザー光を検知し、データ取り込み用のトリガ信号を生成する。
- 7.5 光源ユニット — 光源ユニットは、7.2 ～ 7.4 に記載の項目で構成されるユニットである。
- 7.6 バイポーラ電源 — バイポーラ電源は太陽電池モジュールに電圧を印加する。
- 7.7 電流電圧変換器 — 電流電圧変換器は、太陽電池セルの電流を規定の電圧値に増幅する。
- 7.8 イコライザー — イコライザーは、レーザー走査によって生じる太陽電池セルの電流応答を改善する。
- 7.9 AD 変換器 — AD 変換器は、太陽電池セルの電流をデジタルデータに変換し、コンピュータにデータ転送する。分解能を 8bit 以上とすべきである。
- 7.10 コンピューター — コンピュータには以下のソフトウェアを搭載する。
 - 7.10.1 ハードウェアを制御するソフトウェア — ハードウェアを制御するソフトウェアは、光源部、電流電圧変換器、イコライザーアンプ、およびバイポーラ電源の制御を行う。
 - 7.10.2 信号処理ソフトウェア — 信号処理ソフトウェアは、AD 変換器によって取り込んだデータのフィルタリング処理を行う。
 - 7.10.3 画像処理ソフトウェア — 画像処理ソフトウェアは、信号処理ソフトウェアによって処理されたデータをスタートセンサー信号を起点にして画像化するとともに、クラック判定を行う。

8 安全予防措置

- 8.1 装置全体をひとつの筐体の中に入れ、その筐体を開いたときにレーザーを含むすべての光源の電源供給を止めて装置を停止するための安全ロックを備えるべきである。
- 8.2 レーザーや他の光が目視不可能な赤外光の場合、装置メンテナンスの際に作業者の目を保護するための更なる安全対策を講じるべきである。
- 8.3 作業員やメンテナンス員は IEC 安全標準に沿った保護ゴーグルを着用するべきである。

9 器具の準備

- 9.1 ターゲット板(光学調整具)を検査位置に移動させて、アライメント確認する。
- 9.2 アライメントずれがある場合は、アライメント調整を行うべきである。
- 9.3 ターゲット板中心座標位置にレーザーヘッドを移動させ、レーザー光を点灯する。
- 9.4 レーザービーム照射位置が、ターゲット板中心に合致していることを確認する。
- 9.5 ずれている場合は、レーザーの光軸調整を行いターゲット板中心に合わせる。
- 9.6 レーザー出力メーターを使用して、レーザー出力が規定値であることを確認する。
- 9.7 規定の出力が出ていない場合、規定値に調整する。
- 9.8 スキャナを起動させ、セルをレーザー走査する。
- 9.9 走査軌道が、ターゲット板上に印刷されたライン上でない(角度ずれがある)場合、角度調整を行い軌道を修正する。

10 校正および標準

- 10.1 1 枚または複数枚の基準モジュールを使用して装置を校正する。